



## Innowacyjne rozwiązania w aspekcie ochrony środowiska w nowej generacji zaprawiarki porcjowej do ziaren zbóż

*Leon Kukielka<sup>\*</sup>, Krzysztof Kukielka<sup>\*</sup>, Agnieszka Kułakowska<sup>\*</sup>,  
Zbyszek Zbytek<sup>\*\*</sup>, Aleksander Lubiński<sup>\*\*\*</sup>, Jacek Lubiński<sup>\*\*\*</sup>  
<sup>\*</sup>Politechnika Koszalińska  
<sup>\*\*</sup>Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań  
<sup>\*\*\*</sup>Agralex SJ*

### 1. Wstęp

Dynamiczny rozwój nowych technologii oraz powstawanie dużej liczby nowych coraz bardziej zaawansowanych technologicznie produktów wpływa w istotny sposób na środowisko (Baran & Ryszko 2013). Obecnie proces tworzenia nowego produktu obejmuje najczęściej trzy fazy: badania eksperymentalne, prace rozwojowe i prace projektowanie wraz z wdrożeniem produktu (Burchart-Karol 2010). Podczas tworzenia nowej generacji zaprawiarki porcjowej do ziaren zbóż duży nacisk położono na nową fazę rozwoju produktu – ekoprojektowanie. Zgodnie z tą zasadą już na wczesnym etapie projektowania określa się środowiskowy wpływ produktu. Zastosowanie nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych oraz technologicznych na każdym etapie powstawania nowego produktu, tak aby negatywne oddziaływanie na środowisko było jak najmniejsze jest bardzo ważne. Przy opracowaniu konstrukcji oraz technologii wytwarzania części nowej generacji zaprawiarce porcjowej do ziarna zastosowano zasady ekoprojektowania (Bohdal Ł. Kułakowska i in. 2014, Bohdal Ł. Kukielka L. i in. 2014, Kukielka L. 2005, Kukielka K. & Kukielka L. 2013, Kukielka L. i in. 2014, Kukielka K i in. 2014, Kukielka L. i in. 2012, Kukielka L. i in. 2015, Kułakowska & Kukielka L. 2008,

Kułakowska 2012, Kułakowska i in. 2014, Kułakowska i in. 2014, Małąg i in. 2014, Patyk i in. 2010, Patyk i in. 2014).

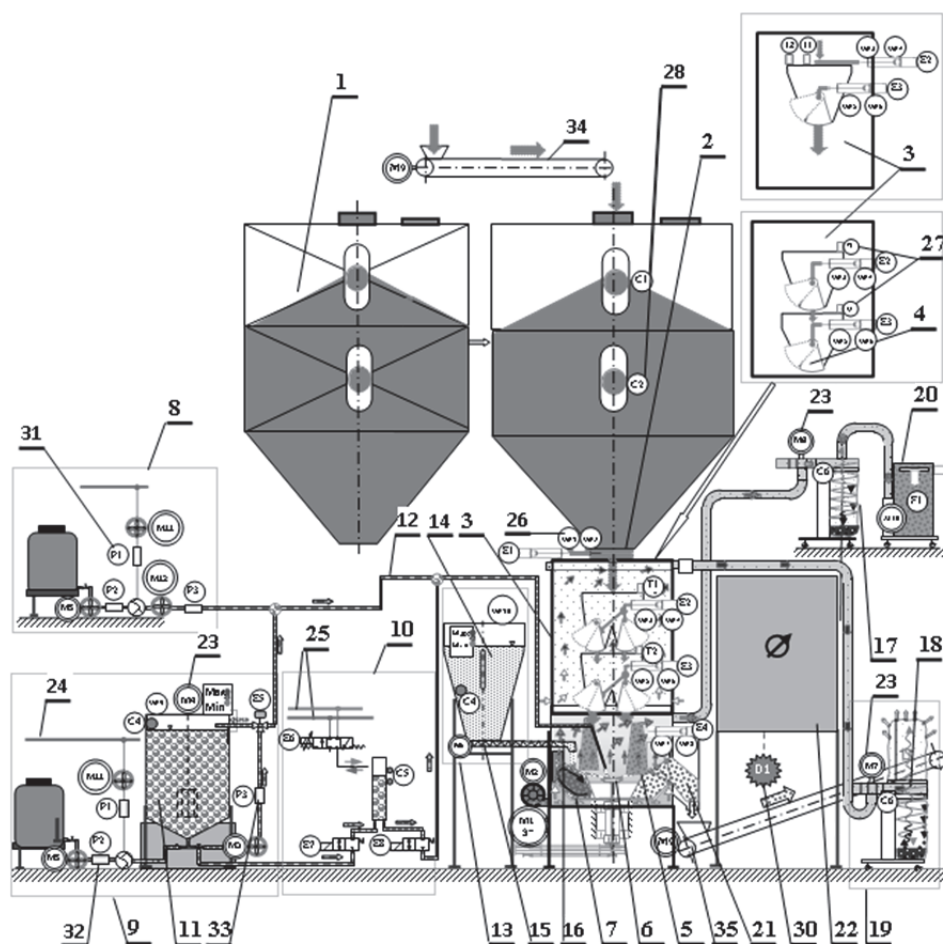
Innowacyjna, automatyczna, wirowa zaprawiarka porcjowa (Kukielka L. i in. 2015) przeznaczona jest do zaprawiania ziarna siewnego zbóż zaprawami nasiennymi proszkowymi, zawiesinowymi i płynnymi, przy czym możliwe jest sekwencyjne stosowanie kilku rodzajów zapraw nasiennych, w tym biologicznych, dzięki zastosowaniu (opcjonalnie) kilku niezależnych układów dozujących i aplikujących zaprawę w postaci płynnej lub proszkowej. Ze względu na dużą rozpiętość wydajności zaprawiarki  $3-8 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$  jest ona przeznaczona dla średnich i dużych gospodarstw rolnych oraz zakładów nasiennych (przedsiębiorstw przygotowujących materiał siewny).

## **2. Wariantowe rozwiązania układów zasilających zaprawiarkę w ziarno niezaprawione i odbierających ziarno zaprawione**

Zakłada się, że automatyczna wirowa zaprawiarka porcjowa musi być przystosowana do współpracy z układami zasilającymi zaprawiarkę w ziarno niezaprawione oraz układami odbierającymi ziarno zaprawione z zaprawiarki, która będzie posiadała wydajność  $3-8 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ . W zależności od wymagań klienta zasilanie ziarnem niezaprawionym odbywa się poprzez transport przenośnikami taśmowymi z magazynu lub środków transportu poprzez porcjowe wysypywanie ziarna bezpośrednio do zbiornika buforowego (pośredniego) zaprawiarki, który umieszczony jest w najwyższym punkcie zaprawiarki. Natomiast transport ziarna zaprawionego z zaprawiarki odbywa się grawitacyjnie zsysem zaprawiarki a następnie, w zależności od wymagań klienta, może być transportowane przenośnikiem zetowym do linii pakowania lub przenośnikiem ukośnym do big-bagów.

## **3. Budowa i zasada działania automatycznej wirowej zaprawiarki porcjowej**

Schemat budowy i zasady działania automatycznej wirowej zaprawiarki porcjowej przedstawiono na rysunku 1.







**Rys. 1.** Schemat wariantowych rozwiązań budowy i zasady działania automatycznej zaprawiarki porcjowej

**Fig. 1.** Scheme of solutions variant of construction and operating principles of automatic vortex batch seed pickling machine

1 – zbiornik pośredni, 2 – zawór spustowy, 3 – komora wagi, 4 – waga, 5 – komora zaprawiania, 6 – tarcza rozpylająca zaprawę płynną, 7 – talerz mieszający ziarno z zaprawą, 8 – zespół przygotowania, dozowania i aplikowania zaprawy płynnej według sposobu I, 9 – zespół przygotowania, magazynowania, dozowania i aplikowania zaprawy płynnej według sposobu II, 10 – zespół dozowania i aplikowania zaprawy płynnej według sposobu III, 11 – zbiornik zaprawy płynnej, 12 – aplikator zaprawy płynnej, 13 – system magazynowania, dozowania i aplikowania zaprawy proszkowej, 14 – zbiornik

zaprawy proszkowej, 15 – dozownik proszku, 16 – aplikator zaprawy proszkowej, 17 – zespół oczyszczania komory wagi, 18 – zespół oddzielania zanieczyszczeń (cyklon), 19 – zespół odpylania komory zaprawiania, 20 – zespół filtrowania powietrza zanieczyszczonego, 21 – podzespół (zsy) opróżniania komory z ziarna zaprawionego, 22 – centralny pulpit sterowniczy, 23 – układy napędowe (M1 – silnik elektryczny napędu przekładni pasowych talerza mieszania ziarna i tarczy rozpylającej, M2 – silnik elektryczny napędu wentylatora tłoczącego czyste powietrze do komory zaprawiania, M3 – silnik elektryczny napędu pompy dozującej zaprawę płynną, M4 – silnik elektryczny napędu mieszadła zaprawy płynnej, M5 – silnik elektryczny napędu pompy dozującej koncentrat zaprawy płynnej, M6 – silnik elektryczny napędu systemu dozowania zaprawy proszkowej, M7 – silnik elektryczny napędu wentylatora systemów oczyszczania komory wagi, M8 – silnik elektryczny napędu wentylatorów systemów oczyszczania komory zaprawiania, M9 – silnik elektryczny napędu przenośnika ziarna, M10 – silnik elektryczny napędu wentylatora zespołu filtrów, M11 - silnik napędu pompy dozującej czystą wodę, M12 - silnik napędu pompy dozującej zaprawę), 24 – instalacja czystej wody, 25 – instalacja pneumatyczna, 26 – wyłączniki krańcowe zaworu spustowego WK1, WK2, 27 – tensometry ważące T1, T2, 28 – czujniki poziomu C1-C6 (C1 – czujnik poziomu zboża w komorze górnej zbiornika pośredniego, C2 – czujnik poziomu zboża w komorze dolnej zbiornika pośredniego, C3 – czujnik poziomu zaprawy płynnej w zbiorniku, C4 – czujnik poziomu zaprawy proszkowej w zbiorniku, C5 – czujnik poziomu zaprawy płynnej w cylindrze pomiarowym, C6 – czujnik napełnienia worka na zanieczyszczenia stałe), WK1-WK10 – wyłączniki krańcowe (WK1, WK2 – wyłączniki krańcowe zaworu spustowego, WK3-WK6 – wyłączniki krańcowe klap wagi, WK7, WK8 – wyłączniki krańcowe siłownika drzwiczek spustowych zaprawione ziarno, WK9 – wyłącznik krańcowy pokrywa zbiornika zaprawy płynnej, WK10 – wyłącznik krańcowy pokrywy zbiornika zaprawy proszkowej), 29 – elektrozawory E1-E8 – elektrozawory (E1 – elektrozawór siłownika pneumatycznego zaworu spustowego, E2, E3 – elektrozawory siłowników pneumatycznych wagi elektronicznej, E4 – elektrozawór siłownika pneumatycznego drzwiczek komory zaprawiania, E5 – sterownik zaworu trójdrożnego, E6, E7, E8 – elektrozawory cylindra pomiarowego, 30 – sygnał dźwiękowy D1 zbyt niskiego poziomu zboża w zbiorniku pośrednim, lub w zbiornikach zaprawy proszkowej i płynnej, lub napełnienia się worka zanieczyszczeń stałych lub zanieczyszczenia zespołu filtrów powietrza, 31 – przepływomierz P1 czystej wody, 32 – przepływomierz P2 koncentratu zaprawy płynnej, 33 – przepływomierz P3 zaprawy płynnej, 34 – przenośnik ziarna (opcja), 35 – przenośnik zetowy lub ukośny ziarna

zaprawionego (opcja),  strumień ziarna niezaprawionego,  strumień ziarna zaprawionego,  strumień powietrza zanieczyszczonego,  strumień powietrza oczyszczonego

Zaprawiarka zbudowana jest z następujących podstawowych zespołów, które stanowią:

- zbiornik pośredni (1) (dwa warianty),
- zawór spustowy zboża ze zbiornika pośredniego (2),
- komora wagi (3) z elektroniczną wagą przepływową różnicową (4) (trzy warianty),
- komora zaprawiania (5) z systemem rozpylania zaprawy płynnej (6) i mieszania ziarna z zaprawą (7),
- zespół magazynowania koncentratu zaprawy płynnej, przygotowania zaprawy płynnej (8), magazynowania (11), dozowania (8, 9 i 10) i podawania (12) do komory zaprawiania (5) (trzy warianty),
- zespół przygotowania zaprawy proszkowej (13), magazynowania (14), dozowania (15) i podawania (16) do komory zaprawiania (5),
- zespół odpylania i oczyszczania komory wagi (19) oraz oddzielania zanieczyszczeń stałych (18),
- zespół odpylania i oczyszczania komory zaprawiania oraz oddzielania zanieczyszczeń stałych (19) i filtrowania powietrza zanieczyszczonego (20),
- podzespół opróżniania komory zaprawiania z ziarna zaprawionego (21),
- centralny panel sterujący (22),
- instalacja elektryczna, układy napędów (23) (bębna i tarcze rozpylające, pompy, mieszadła, instalacji odpylających, filtrów) ( $M_i$ ,  $i = 1-11$ ),
- instalacja czystej wody (24),
- instalacja pneumatyczna (25),
- czujniki poziomu C1-C8 (28),
- przepływomierze ( $P_i$ ,  $i = 1-3$ ),
- tensometry ważące T1, T2 (27),
- wyłączniki krańcowe ( $WK_i$ ,  $i = 1-10$ ).

## **4. Systemy odpylania i oczyszczania komory wagi i komory zaprawiania**

Zakłada się, że do odpylania zaprawiarki nowej generacji zastosowane będą dwa niezależne systemy. Pierwszy system odpylania zasadniczego dotyczy odpylania komory wagi i pracuje w układzie otwartym. Drugi, autonomiczny system dotyczy odpylania komory zaprawiania i pracuje w układzie zamkniętym.

### **4.1. Założenia wstępne dotyczące systemów odpylania i oczyszczania**

1. W skład systemu odpylania zaprawiarki wchodzi dwa systemy:
  - zasadniczy, otwarty system odpylający, służący do oczyszczania ziarna znajdującego się w zespole wagi z plew oraz innych zanieczyszczeń stałych (rys. 2),
  - dodatkowy, zamknięty (autonomiczny) system odpylający, służący do dodatkowego oczyszczania ziarna znajdującego się w komorze zaprawiania z pozostałości zanieczyszczeń oraz nadmiaru zaprawy (rys. 3).
2. Zasadniczy system odpylania umożliwia oczyszczanie ziarna z pyłu, plew i innych drobnych zanieczyszczeń stałych, przez co zwiększy się skuteczność procesu zaprawiania ziarna. Oddzielenie zanieczyszczeń od powietrza nastąpi metodą odśrodkową poprzez zastosowanie cyklonu. Prędkość powietrza w komorze wagi musi być mniejsza od prędkości krytycznej ziarna zboża.
3. Dodatkowy system odpylania komory zaprawiania (zamknięty, autonomiczny), umożliwia dodatkowe oczyszczenie ziarna z pozostałego pyłu, plew i innych drobnych zanieczyszczeń stałych oraz z nadmiaru zaprawy, przez co zmniejszy się niekorzystne oddziaływanie na środowisko. Odpylanie zanieczyszczonego powietrza nastąpi w dwóch etapach. W etapie pierwszym oddzielane będą zanieczyszczenia stałe metodą odśrodkową poprzez zastosowanie cyklonu, a w etapie drugim oddzielenie pozostałych zanieczyszczeń gazowych i cieczy poprzez filtrowanie. Prędkość powietrza w komorze wagi musi być mniejsza od prędkości krytycznej ziarna zboża.
4. Ze względu na oszczędność energii zaleca się stosowanie silników napędowych o możliwie najmniejszych mocach. Dodatkowo można przewidzieć możliwość wykorzystania talerza mieszania ziarna jako

wentylatora. W tym celu należy doposażyć talerz główny w łopatki zasysające powietrze oraz odpowiednio ukształtować komorę wlotu powietrza i wylotu do komory zaprawiania.

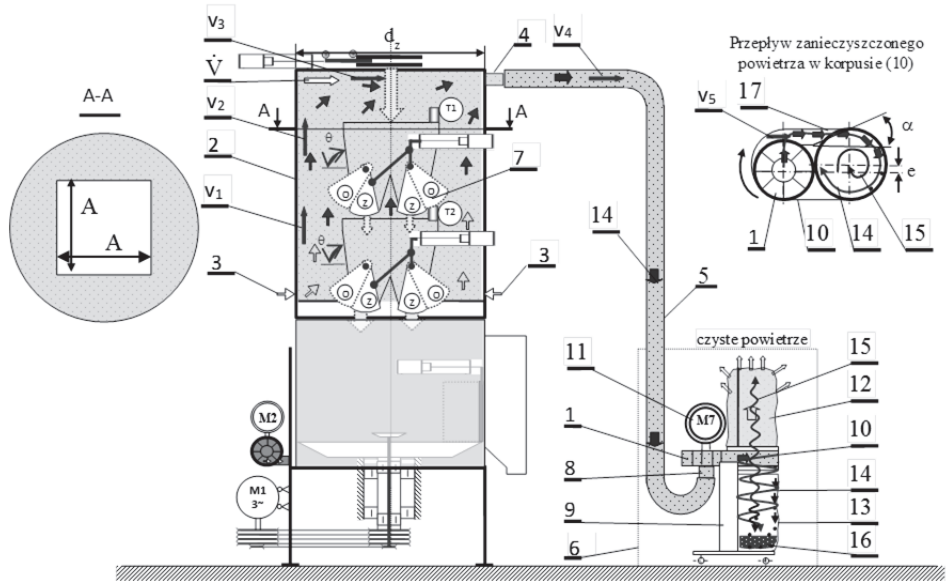
5. Ze względu na oszczędność materiałów zaleca się stosowanie kanałów powietrznych o możliwie najmniejszych przekrojach.
6. Kanały przepływu powietrza mogą być wykonane jako elementy sztywne lub elastyczne.
7. Zasadniczy system odpylania umożliwia odpylanie ziarna z pyłu i cząstek o średnicy powyżej 50  $\mu\text{m}$ , dokładność filtrowania 99%.
8. Dodatkowy system odpylania komory zaprawiania odpylania ziarna z pyłu (oparów chemicznych) o wielkości cząstek powyżej 0,3  $\mu\text{m}$  i dokładność filtrowania powyżej 99,7%.
9. W celu zapewnienia poprawnej pracy cyklonu w systemach odpylania przyjmuje się, iż worek na zanieczyszczenia stałe w obu systemach odpylania powinien być napełniony maksymalnie do 80%.
10. Zespół filtrów (13) (rys. 3) w układzie odpylania komory zaprawiania w systemie zamkniętym powinien być wyposażony w sygnalizację stopnia zanieczyszczenia.
11. Należy przewidzieć możliwość okresowego oczyszczania zarówno komory wagi jak i komory zaprawiania, szczególnie miejsc trudno-dostępnych np. szczelina pomiędzy osłoną teflonową a talerzem ziarna lub pomiędzy talerzem a obudową komory, z resztek ziarna i zanieczyszczeń.

#### **4.2. Opis budowy i zasady działania systemu odpylania komory wagi**

System odpylania komory wagi umożliwia oczyszczenie ziarna z pyłu, plew i innych zanieczyszczeń stałych, przez co zwiększy się skuteczność procesu zaprawiania ziarna. Przepływ powietrza rozpoczyna się od wlotu czystego powietrza do zespołu wagi (3), a ujście zanieczyszczonego powietrza odbywa się za pomocą króćca wylotowego (4) odprowadzającego zanieczyszczone powietrze z zespołu wagi (rys. 2). Zanieczyszczone powietrze po opuszczeniu komory wagi (2) za pomocą króćca (4) i kanału odprowadzającego (5) trafia do zasadniczego, otwartego systemu odpylania (6).

System odpylania (6) składa się z ramy (9), na której umieszczony jest korpus systemu odpylającego (10). Korpus podzielony jest na dwie komory. W pierwszej komorze korpusu (10) przymocowany jest silnik

(11) napędu wentylatora (1), który wysysa zanieczyszczone powietrze z komory wagi (2) i tłoczy je do systemu oddzielającego zanieczyszczenia stałe (6). Wylot z komory wentylatora do komory odpylającej jest umieszczony mimośrodowo (e). W drugiej oddzielającej części korpusu są przymocowane worki do okrągłych otworów ( $d = 35 \text{ mm}$ ), za pomocą opasek metalowych z klamrą zaciskową. U góry znajduje się worek (12) wykonany z materiału przepuszczającego powietrze, a wyłapujący wszystkie zanieczyszczenia stałe wydostające się z komory wagi zaprawiarki, natomiast na dole znajduje się worek wykonany ze szczelnego tworzywa (13), do którego spadają wszystkie zanieczyszczenia stałe.



**Rys. 2.** Schemat układu odpylania komory wagi w układzie otwartym

**Fig. 2.** Scheme of the dust collection chamber weights in an open system

1 – wentylator odśrodkowy, 2 – komora wagi, 3 – wlot czystego powietrza do zespołu wagi, 4 – króciec wylotowy zanieczyszczonego powietrza z komory wagi, 5 – kanał odprowadzający powietrze zanieczyszczone z zespołu wagi, 6 – zasadniczy, otwarty zespół odpylania, 7 – waga przepływowa różnicowa dwuzbiornikowa dwukomorowa, 8 – króciec dolotowy do korpusu zespołu odpylania, 9 – rama, 10 – korpus, 11 – silnik napędowy wentylatora, 12 – worek przepuszczający czyste powietrze, 13 – worek na zanieczyszczenia stałe, 14 – strumień powietrza zanieczyszczonego, 15 – strumień powietrza czystego, 16 – za-



nieczyszczenia stałe, 17 – okno wlotowe cyklonu,  $\Rightarrow$  kierunek przepływu czystego powietrza aspiracji,  $\rightarrow$  kierunek przepływu zanieczyszczonego powietrza,  $v_1$  – prędkość strumienia powietrza w komorze wagi,  $v_2$  – prędkość strumienia powietrza w komorze wagi w przekroju A-A,  $\dot{V}$  i  $v_3$  – natężenie objętościowe i prędkość strumienia powietrza w komorze wagi w przestrzeni nad wagą,  $v_4$  – prędkość strumienia powietrza w kanale odprowadzającym powietrze zanieczyszczone z zespołu wagi,  $v_5$  – prędkość strumienia powietrza w oknie wlotowym cyklonu,  $\rightarrow$  strumienie ziarna o różnym natężeniu przepływu.

Do oddzielania zanieczyszczeń stałych zastosowano odpylacz cyklonowy (cyklon). Zanieczyszczone powietrze (14) wpada do cylindrycznej komory i wiruje w niej, w wyniku czego unoszące się w powietrzu cięższe od niego składniki są odrzucane na zewnątrz pod działaniem siły odśrodkowej. W wyniku ocierania się o ścianki cyklonu tracą one prędkość (energię kinetyczną) i opadają pod wpływem grawitacji, a czyste powietrze wypływa w górę, przez centralnie umieszczony kanał (Ciborowski 1955, Ciborowski 1965, Mieszkowski 2008, Utikar i in. 2010, Warych 1998). Doprowadzone do cyklonu zanieczyszczone powietrze pod wpływem siły odśrodkowej formuje dwa spiralnie wirujące strumienie. Zewnętrzny opadający (kolor czerwony) (14) i wewnętrzny (kolor niebieski) wznoszący (15). Zanieczyszczenia stałe (kolor czarny) (16), które pod wpływem sił odśrodkowej docierają do ścianki cyklonu i pod wpływem siły ciężkości opadają do worka (13).

Oprócz styczności umieszczenia okna wlotowego cyklonu, ważna jest również jego konstrukcja. Zaleca się (Mieszkowski 2008, Warych 1998) nachylenie okna wlotowego pod kątem  $\alpha$ , które zapobiega odbiciu się cząstek stałych od walcowej ścianki cyklonu.

### **4.3. Opis budowy i zasady działania systemu odpylania i oczyszczania komory zaprawiania**

System odpylania komory zaprawiania (zamknięty, autonomiczny), umożliwi dodatkowe oczyszczenie ziarna z pozostałego pyłu, plew i innych drobnych zanieczyszczeń stałych oraz z nadmiaru zaprawy, przez co zmniejszy się niekorzystne oddziaływanie na środowisko. Oczyszczanie zanieczyszczonego powietrza nastąpi w dwóch etapach. W etapie pierwszym oddzielane będą zanieczyszczenia stałe metodą odśrodkową poprzez zastosowanie cyklonu (identycznie jak opisane w pkt. 4.2), a w etapie dru-

gim nastąpi oddzielenie pozostałych zanieczyszczeń gazowych i cieczy poprzez filtrowanie w zespole filtrów (13) (rys. 3). System odpylania komory zaprawiania zawiera wentylator odśrodkowy (1) (rys. 4) tłoczący powietrze kanałem (2) stycznie do komory zaprawiania (3), do przestrzeni utworzonej pomiędzy obudową komory (4), a głównym talerzem mieszania ziarna (5).

W wyniku wytworzonego nadciśnienia, powietrze przepływa szczeliną utworzoną pomiędzy głównym talerzem mieszania ziarna (5) a obudową komory zaprawiania (4), porywa zanieczyszczenia, a następnie króćcem wylotowym (6) oraz kolanem (15) i kanałem (16), a następnie dwa strumienie łączą się w trójkątniku (14), który ma możliwość regulacji natężenia przepływu zanieczyszczonego powietrza, i dalej kanałem (7) odprowadzającym powietrze zanieczyszczone z zespołu zaprawiania (3) jest zasysane wentylatorem (11) napędzanym silnikiem (10) do centralnego, autonomicznego systemu zawierającego cyklon (8) oraz zespół filtrów (13). Zasada działania cyklonu została opisana w pkt. 4.2. Po oddzieleniu cząstek stałych o wielkości powyżej 50  $\mu\text{m}$  powietrze jest zasysane do zespołu filtrów (13), w którym następuje oddzielenie zanieczyszczeń powyżej 0,3  $\mu\text{m}$ , wyłapujących zanieczyszczenia lotne (również ciekłe i proszkowe resztki zaprawy). Dokładność oczyszczania wynosi 99,7%.

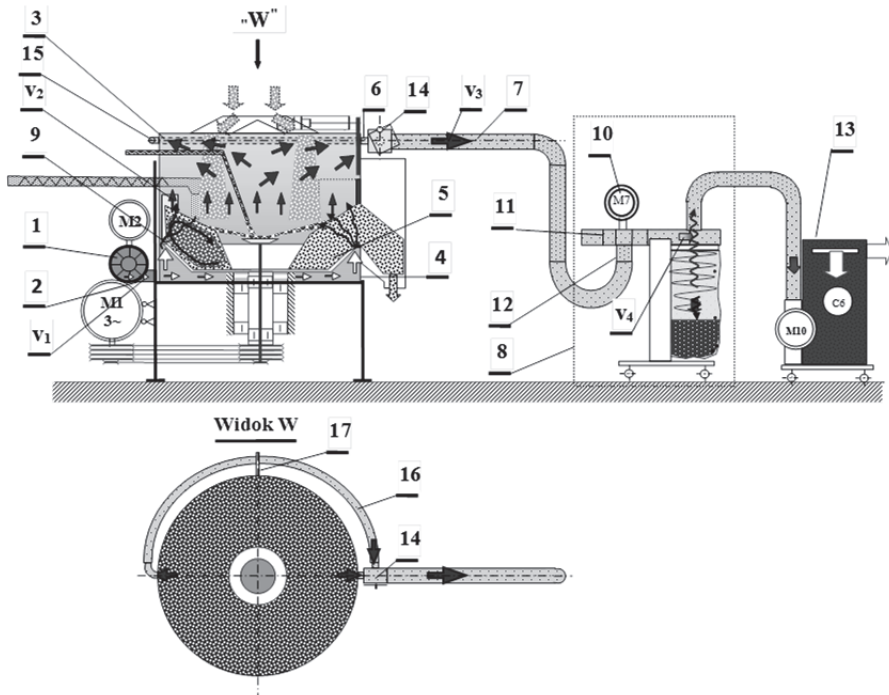
Budowa i szczegółowe rozwiązanie centralnego, autonomicznego systemu oczyszczania i aspiracji nie wchodzi w zakres projektu i należy do inwestora. W Polsce istnieje wiele firm specjalizujących się w projektowaniu oraz budowie, instalacji i serwisowaniu takich instalacji, np. Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne „BANAD & Synowie” posiada w swoim asortymencie urządzenie do filtrowania Health Pro 150 i Health Pro 250 o skuteczności filtrowania 99,97% (Banad 2015), firma KLIMAWENT 81-571 GDYNIA, ul. Chwaszczyńska 194 (Klimawent 2015). Podobne rozwiązania znajdziemy w ofercie firmy TOP-PROJECT (Top-Project 2015) lub Ruwac (Ruwac 2015).

Zamknięty system odpylania komory zaprawiania pracuje w dwóch trybach wydajności (dwie prędkości obrotowe silnika M2 napędzającego wirnik wentylatora (1) – silnik dwubiegowy) w trzech fazach:

- pierwsza – obejmująca 100% wydajności wentylatora (1) tłoczącego powietrze do komory (pod talerz) i trwa od momentu zasypania ziarna

do komory zaprawiania, aż do momentu zwilżenia ziarna przez zaprawę (czas ten będzie dobrany eksperymentalnie),

- druga – obejmuje 50% wydajności wentylatora (1) trwa od momentu zwilżenia ziarna przez zaprawę, aż do momentu otworzenia drzwiczek komory zaprawiania.
- trzecia – obejmuje 100% wydajności wentylatora (1) i trwa od momentu otworzenia drzwiczek komory aż do całkowitego opróżnienia z ziarna z komory zaprawiania.



**Rys. 3.** Schemat układu odpylania komory zaprawiania w układzie zamkniętym  
**Fig. 3.** Scheme of the dust collection in dressing chamber in a closed system  
 1 – wentylator odśrodkowy, 2 – kanał doprowadzający czyste powietrze do zespołu zaprawiającego, 3 – komora zaprawiania, 4 – obudowa komory zaprawiania, 5 – talerz mieszania ziarna, 6 – króciec odprowadzający powietrze zanieczyszczone z zespołu zaprawiającego, 7 – kanał odprowadzający powietrze zanieczyszczone z zespołu zaprawiającego, 8 – centralny, autonomiczny system aspiracji, oczyszczania i filtracji, 9 – przestrzeń pomiędzy talerzem mieszania ziarna (5) a obudową komory (4), 10 – napęd wentylatora aspiracji powietrza

zanieczyszczonego, 11 – wentylator odśrodkowy systemu, 12 – króciec dolotowy do korpusu zespołu oczyszczania, 13 – zespół filtrów, 14 – trójnik z przezroczystą odchylaną ścianką przednią do regulacji objętościowego natężenia przepływu powietrza zanieczyszczonego, 15 – kolano lub króciec odprowadzający powietrze zanieczyszczone z zespołu zaprawiającego, 16 – kanał elastyczny odprowadzający powietrze zanieczyszczone z zespołu zaprawiającego, 17 – wspornik kanału elastycznego 16,  $v_1$  – prędkość strumienia w kanale dolotowym do zespołu zaprawiającego,  $\dot{V}_s$  – natężenie objętościowe strumienia powietrza w zespole zaprawiającym w szczelinie,  $v_2$  – prędkość strumienia w komorze zaprawiającej,  $v_3$  – prędkość strumienia w kanale wylotowym z zespołu zaprawiającego,  $v_4$  – prędkość strumienia w oknie wlotowym cyklonu,  $\rightarrow$  kierunek przepływu czystego powietrza zanieczyszczonego,  $\Rightarrow$  kierunek przepływu powietrza oczyszczonego,  $\rightarrow$  strumienie ziarna

#### 4.4. Obliczenia systemu odpylania komory wagi

##### 4.4.1. Objętościowe natężenie przepływu powietrza

Maksymalne objętościowe natężenie strumienia powietrza w komorze wagi wyznaczono z masowego natężenia przepływu (Bohdal T. i in. 2000, Mieszkowski 2008):

$$\dot{m} = \frac{F_1 \cdot v_1}{v_1} = \frac{F_2 \cdot v_2}{v_2} = \frac{F_3 \cdot v_3}{v_3} = \text{const } \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (1)$$

gdzie:

$F_i, i = 1-3$  – pole powierzchni przekroju,  $\text{m}^2$ ,

$v_i, i = 1-3$  – prędkość powietrza,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

$v_i, i = 1-3$  – objętość właściwa powietrza,  $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ,

lub

$$\dot{m} = F_1 \cdot v_1 \cdot \rho_1 = F_2 \cdot v_2 \cdot \rho_2 = F_3 \cdot v_3 \cdot \rho_3 = \text{const } \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (2)$$

gdzie:

$\rho_i, i = 1-3$  – gęstość właściwa powietrza,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Zakładając, że gaz (powietrze) jest nieściśliwe:  $v_1 = v_2 = v_3 = v = \text{const.}$  oraz  $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho = \text{const.}$ , równania (1) i (2) prowadzą do tzw. zasady ciągłości przepływu:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \dot{m} \cdot v = F_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot v_2 = F_3 \cdot v_3 = \text{const } m^3 \cdot s^{-1}, \quad (3)$$

lub

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \dot{V}_3 = \dot{V} = \text{const. czyli } F \cdot v = \text{const } m^3 \cdot s^{-1}. \quad (3a)$$

Maksymalna prędkość przepływu powietrza w komorze wagi nie może być większa od prędkości krytycznej ziarna zbóż. Prędkość krytyczna ziarna zbóż zależy od rodzaju ziarna i według J. Grochowicza (Marks 2012) zawiera się w granicach 5,0-12,0 m·s<sup>-1</sup> (tabela 1). Do obliczeń przyjęto minimalną prędkość krytyczną wynoszącą 5 m·s<sup>-1</sup>.

Maksymalne objętościowe natężenie strumienia powietrza w komorze wagi, zgodnie z zależnością (3a) jest obliczane ze wzoru:

$$\dot{V}_{\text{max}} = v_{k,\text{min}} \cdot \Delta F \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}, \quad (4)$$

gdzie:

$v_{k,\text{min}}$  – minimalna prędkość krytyczna dla ziarna zbóż m·s<sup>-1</sup>,

$\Delta F$  – pole powierzchni szczeliny m<sup>2</sup>.

Zatem, największa prędkość powietrza, dla przyjętej prędkości krytycznej ziarna w komorze wagi, występuje w tym przekroju wagi, który ma najmniejsze pole powierzchni. Może to być przekrój A-A (rys. 4), w którym pole powierzchni przepływu powietrza jest ograniczone obudową wagi i obudową komory wagi lub przekrój B-B nad wagą, ograniczony obudową wagi, obudową komory wagi i strumieniem ziarna spadającego z zaworu spustowego w kształcie stożka (otwór okrągły) lub graniastosłupa (otwór kwadratowy).

**Tablica 1.** Prędkości krytyczne dla ziaren zbóż według J. Grochowicza (Marks 2012)

**Table 1.** Critical speed for grains by J. Grochowicza (Marks 2012)

Rodzaj materiału	Prędkość krytyczna $v_{k,\text{min}}$ m·s <sup>-1</sup>
Pszenica (ziarno celne)	9,0-11,5
Żyto ziarno	8,5-10,0
Jęczmień ziarno	8,5-11,0
Owies	5,0-12,0

Przyjmując wysokość komory nad wagą  $H = 0,212$  m i wymiar  $A = 0,39$  m przekroju poprzecznego obudowy wagi oraz wymiary otworu spustowego  $d = 0,22$  m lub  $B = 0,20$  m, pole przekroju  $\Delta F$  we wzorze (4) wynosi:

a) przekrój A-A:

$$\Delta F = \frac{\pi \cdot d_z^2}{4} - A^2 = 0,3257 \text{ m}^2, \quad (5)$$

b) przekrój B-B:

• otwór okrągły:

$$\Delta F = (d_z - d) \cdot H = 0,036 \text{ m}^2, \quad (6)$$

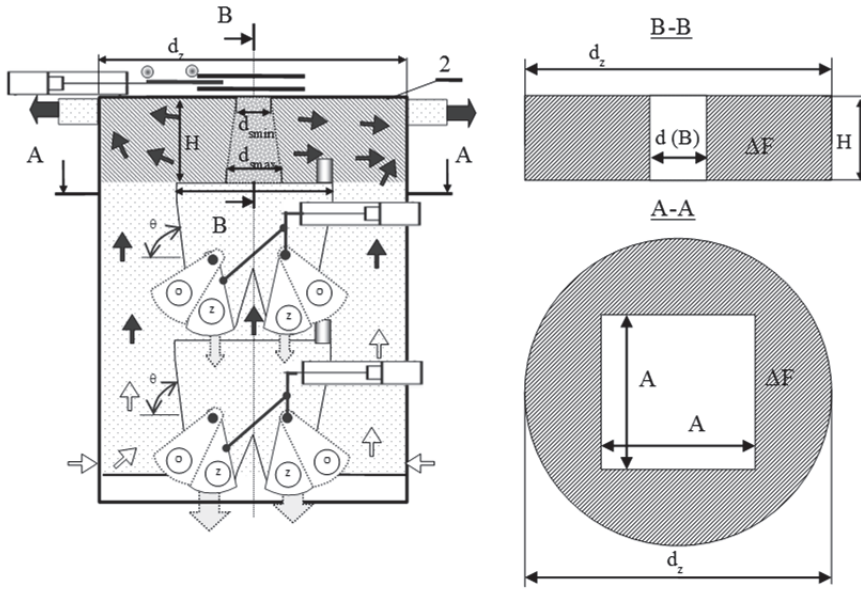
• otwór kwadratowy:

$$\Delta F = (d_z - B) \cdot H = 0,040 \text{ m}^2. \quad (7)$$

Zatem do dalszych obliczeń przyjęto przekrój B-B, przypadek z okrągłym otworem spustowym. Maksymalne objętościowe natężenie strumienia powietrza według wzoru (4) wynosi:

$$\dot{V}_{\max} = v_{k,\min} \cdot \Delta F = 648 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}. \quad (8)$$

Przyjęto, że maksymalne objętościowe natężenie strumienia powietrza w komorze wagi wynosi około  $\dot{V}_{\max} = 650 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Natomiast do dalszych obliczeń, aby nie dopuścić do wysysania ziarna z komory wagi do systemu aspiracji, przyjęto mniejszą wartość:  $\dot{V}_o = 0,62 \cdot \dot{V}_{\max} = 550 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 0,153 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Wynika to również z metody obliczania prędkości krytycznej ziarna, w której nie uwzględnia się rzeczywistej geometrii ziarna tylko traktuje się je jako kulę.



**Rys. 4.** Komora wagowa z zaznaczonymi strefami, dla których zostały wyznaczone prędkości powietrza i maksymalne natężenie przepływu powietrza  
**Fig. 4.** The weighing chamber with marked zones for which they are designated air speed and maximum air flow

#### 4.4.2. Pole przekroju poprzecznego kanału odprowadzającego zanieczyszczone powietrze z komory wagi

Pole przekroju poprzecznego kanału odprowadzającego zanieczyszczone powietrze z komory wagi obliczono ze wzoru (3) przyjmując obliczone w pkt. 4.4.1 maksymalne objętościowe natężenie strumienia powietrza w komorze wagi  $\dot{V}_0$  oraz wymaganą prędkość przepływu zanieczyszczonego powietrza w cyklonie. Na podstawie literatury (Mieszkowski 2008) przyjęto, że wymagana prędkość przepływu powietrza w cyklonie, która zapewnia wymaganą jakość (sprawność) oddzielania zanieczyszczeń stałych, wynosi  $v_c = 18-25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Przyjmując  $v_{c,\max} = 25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  oraz zakładając, że zarówno króciec jak i kanał odprowadzający powietrze z komory wagi mają przekrój kołowy, po przekształceniu wzoru (3) otrzymano wzór na średnicę kanału:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}_o}{\pi \cdot v_{c,\max}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,153}{\pi \cdot 25}} = 0,088 \text{ m}^2 \quad (9)$$

Przyjęto:  $d = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$ .

#### 4.4.3. Pole przekroju poprzecznego okna wlotowego cyklonu

Zgodnie z rysunkiem 4 przyjęto, że okno wlotowe cyklonu ma przekrój prostokątny. Z zasady ciągłości przepływu (3a) oraz dla przyjętej maksymalnej prędkości zanieczyszczonego powietrza na wlocie do cyklonu  $v_{c,\max} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  wymagane pole powierzchni przekroju poprzecznego okna wlotowego cyklonu  $F_{oc}$  wynosi:

$$F_{oc} = \frac{\dot{V}_o}{v_{c,\max}} = \frac{0,153}{25} = 0,00612 \text{ m}^2. \quad (10)$$

Przykładowo przyjmując wysokość przekroju okna wlotowego  $h = 0,1 \text{ m}$  (rys. 4), można obliczyć szerokość okna, ze wzoru:

$$s = \frac{F_{oc}}{h} = \frac{0,00612}{0,1} = 0,0612 \text{ m}. \quad (11)$$

Zatem można przyjąć:  $F_{oc} = 0,00612 \text{ m}^2$ ,  $h = 0,1 \text{ m}$  i  $s = 0,06 \text{ m}$ .

#### 4.4.4. Prędkość powietrza w przekroju A-A komory wagi

Prędkość powietrza  $v_2$  w przekroju A-A komory wagi (rys. 4), dla obliczonej wartości maksymalnego objętościowego natężenia przepływu powietrza  $\dot{V}_o$ , wyznaczono ze wzoru (3) przekształcając go do postaci:

$$v_2 = \frac{\dot{V}_o}{\Delta F} = \frac{0,153}{0,3257} = 0,47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (12)$$

Zatem warunek  $v_2 = 0,47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} < v_{z,\min} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  jest spełniony.

#### 4.4.5. Moc elektrycznego silnika napędowego wentylatora cyklonu

Wymaganą moc silnika w punkcie pracy wentylatora można obliczyć ze wzoru:



$$P_w = \frac{\dot{V}_o \cdot \Delta p_t}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta} \text{ kW.} \quad (13)$$

gdzie:

$\dot{V}_o$  – wymagane objętościowe natężenie przepływu powietrza,  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,

$\Delta p_t$  – ciśnienie całkowite (przyjęto  $\Delta p_t = 1000 \text{ Pa}$ ),

$\eta$  – sprawność wentylatora (przyjęto  $\eta = 0,86$ ).

Po podstawieniu danych otrzymano:  $P_w = 0,178 \approx 0,18 \text{ kW}$ . Przyjęto moc silnika napędu wentylatora systemu oczyszczania komory wagi:  $P_w = 0,18 \text{ kW}$ .

Podobnie przeprowadzono obliczenia systemu odpylania komory zaprawiania, które zawarto w opracowaniu (Kukielka L. i in. 2015).

## 5. Podsumowanie

W nowatorskich rozwiązaniach dotyczących zaprawiarek porcjowych do ziarn zbóż stosuje się eko innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne. Zaprezentowany w niniejszej pracy systemy odpylania i oczyszczania komory wagi i komory zaprawiania podzielono na dwa systemy. Pierwszy zasadniczy, otwarty system odpylający, służący do oczyszczania ziarna znajdującego się w zespole wagi z plew oraz innych zanieczyszczeń stałych. Drugi, autonomiczny system dotyczy odpylania komory zaprawiania, pracuje w układzie zamkniętym i służy do dodatkowego oczyszczania ziarna znajdującego się w komorze zaprawiania z pozostałości zanieczyszczeń oraz nadmiaru zaprawy.

Badania eksperymentalne umożliwiły obserwację pracy systemów odpylania i oczyszczania komory wagi i komory zaprawiania, które potwierdzają słuszność przyjętych założeń oraz przeprowadzonych w niniejszej pracy obliczeń.

*Wyniki prezentowane w niniejszej pracy realizowano jako projekt Nr 227418 pt. „Zaprawiarka nowej generacji z systemem sterowania i diagnostyki z wykorzystaniem transmitowanych danych siecią internetową” w ramach programu INNOTECH, Działania 1.5 Projekty systemowe Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013.*

## Literatura

- Baran, J., Ryszko, A. (2013). Opracowywanie i wdrażanie ekoinnowacji technicznych a ekoprojektowanie – integracja procesów i wskazówki metodyczne ich realizacji. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, 34-46.
- Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne "BANAD & Synowie"*, <http://www.banad.com.pl/>
- Bohdal, T., Charun, H., Czapp, M., Dutkowski, K. (2000). *Ćwiczenia laboratoryjne z termodynamiki*. Skrypt do Laboratorium z termodynamiki i techniki cieplnej. Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej.
- Bohdal, Ł., Kułakowska, A., Patyk, R. (2014). Analysis of Slitting of Aluminum Body Panels in the Aspect of Scrap Reduction. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection)*, 16, 105-114.
- Bohdal, L., Kukielka, L., Kukielka, K., Kułakowska, A., Maląg, L., Patyk, R. (2014). Three Dimensional Finite Element Simulation of Sheet Metal Blanking Process. *Mechanics and Materials "Novel Trends in Production Devices and Systems"*, 474, 430-435.
- Burchart-Karol, D. (2010). Ekoprojektowanie – holistyczne podejście do projektowania. *Problemy Ekologii*, 14, 116-120.
- Ciborowski, J. (1955). *Inżynieria chemiczna*. Wyd. 2. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Ciborowski, J. (1965). *Podstawy inżynierii chemicznej*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- KLIMAWENT S.A.* <http://www.klimawent.com.pl/>.
- Kukielka, L., Kustra, J., Kukielka, K. (2005). Numerical analysis of states of strain and stress of material during machining with a single abrasive grain. *Computer Methods and Experimental Measurements for Surface Effects and Contact Mechanics VII*, Southampton-Boston, WITPRESS, 57-66.
- Kukielka, L., Kułakowska, A., Patyk, R. (2010). Numerical modeling and simulation of the movable contact tool-workpiece and application in technological processes. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 8 (3), 36-41.

- Kukielka, K., Kukielka, L. (2013). *External thread rolling head*. The polish patent No PL402652-A1, PL220175-B1, 4.02.2013. (in Polish).
- Kukielka, L., Kukielka, K., Kułakowska, A., Patyk, R., Malag, L., Bohdal, L. (2014). Incremental Modelling and Numerical Solution of the Contact Problem between Movable Elastic and Elastic/Visco-Plastic Bodies and Application in the Technological Processes. *Applied Mechanics and Materials "Novel Trends in Production Devices and Systems"*, 474, 159-165.
- Kukielka, K., Kukielka, L., Bohdal, L., Kułakowska, A., Malag, L., Patyk, R. (2014). 3D Numerical Analysis the State of Elastic/Visco-Plastic Strain in the External Round Thread Rolled on Cold. *Applied Mechanics and Materials "Novel Trends in Production Devices and Systems"*, 474, 436-441.
- Kukielka, L., Geleta, K., Kukielka, K. (2012). Modelling of Initial and Boundary Problems with Geometrical and Physical Nonlinearity and its Application in Burnishing Processes. *Steel Research International, Special Edition: 14th International Conference Metal Forming, Krakow*, 1375-1378.
- Kukielka, L., Kułakowska, A., Kukielka K. (2015). Sprawozdanie merytoryczne z postępów realizacji zadania nr 2 projektu Innotech pt: „Zaprawiarka nowej generacji z systemem sterowania i diagnostyki z wykorzystaniem transmitowanych danych siecią internetową”. Temat zadania: Wariantowe obliczenia wyjściowych wskaźników technicznych i parametrów pracy układów napędowych, roboczych i nośnego automatycznej wirowej zaprawiarki porcjowej. *Nr umowy INNOTECH-K3/IN3/23/227418/NCBR/ /14 (niepublikowane)*.
- Kułakowska, A., Kukielka L. (2008). Numerical analysis and experimental researches of burnishing rolling process with taking into account deviations in the surface asperities outline after previous treatment. *Steel Research International*, 2, 42-48.
- Kułakowska, A. (2012). Experimental researches of burnishing rolling process of regular surface asperities prepared in turning process. *Steel Research International 2012. Special Edition: 14<sup>th</sup> International Conference on Metal Forming, Kraków*, 127-131.
- Kułakowska, A., Kukielka, L., Kukielka, K., Malag, L., Patyk, R., Bohdal, L. (2014). Possibility of steering of product surface layers properties in burnishing rolling process. *Applied Mechanics and Materials "Novel Trends in Production Devices and Systems"*, 474, 442-447.
- Kułakowska, A., Patyk, R., Bohdal, L. (2014). Application of Burnishing Process in Creating Environmental Product. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection)*, 16, 323-335.

- Marks, N. (2012). *Maszyny do czyszczenia i sortowania plodów rolnych*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych.
- Malag, L., Kukielka, L., Kukielka, K., Kułakowska, A., Patyk, R., Bohdal, L. (2014). Problems Determining of the Mechanical Properties of Metallic Materials from the Tensile Test in the Aspect of Numerical Calculations of the Technological Processes. *Applied Mechanics and Materials "Novel Trends in Production Devices and Systems"*, 474, 454-459.
- Mieszkowski, A. (2008). Zwiększenie skuteczności odpylania cyklonów. *Czasopismo Techniczne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2-M, 213-220.
- Patyk, R., Kułakowska, A., Bohdal, L. (2010). Environmental, Economic and Exploitation Aspects of the Use of Burnishing Rolling Treatments. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection)*, 16, 351-362.
- Patyk, R., Kukielka, L., Kukielka, K., Kułakowska, A., Malag, L., Bohdal, L. (2014). Numerical Study of the Influence of Surface Regular Asperities Prepared in Previous Treatment by Embossing Process on the Object Surface Layer State after Burnishing. *Applied Mechanics and Materials "Novel Trends in Production Devices and Systems"*, 474, 448-453.
- Ruwac (2015). *Odkurzacze Przemysłowe*: <http://www.odkurzacze-przemyslowe.com.pl/>.
- Technika Instalacyjna (2015). "TOP-PROJEKT", <http://www.topprojekt.com.pl>.
- Utikar, R., Darmawan, N., Tade, M., Li, Q., Evans, G., Glenny, M. and Pareek, V. (2010). Hydrodynamic Simulation of Cyclone Separators. *Computational Fluid Dynamics*, 420.
- Warych, J. (1998). *Oczyszczanie gazów; procesy i aparatura*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.

## **Innovative Solutions in Terms of Environmental Protection in the New Generation of the Seed Pickling Machine**

### **Abstract**

This paper presents automatic, innovative, whirl pickling machine of batch, which is designed for dressing of the seed grain by dressing: seed powder, water slurry and liquid, whereby it is possible to sequential use of several kinds of seed treatment, including biological, which is possible by

use of application (optional) of few independent dosing systems and applying pickling in liquid or powder form.

The aim of the article is to present innovative design and operating parameters of new generation seed pickling machine. In this paper, the main emphasis is on dust collection system in dressing chamber and weighing chamber. The dust collection in dressing chamber in a closed system, however the dust collection chamber weights in an open system. This schemas, theoretical basis, equation and calculations were shown in this paper. Due to the high performance of the pickling machine 3-8 [ $t \cdot h^{-1}$ ] is designed for medium and large farms and seed plants (companies preparing seed).

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono automatyczną, wirową zaprawiarkę porcjową, która przeznaczona jest do zaprawiania ziarna siewnego zbóż zaprawami nasiennymi proszkowymi, zawiesinowymi i płynnymi, przy czym możliwe jest sekwencyjne stosowanie kilku rodzajów zapraw nasiennych, w tym biologicznych, dzięki zastosowaniu (opcjonalnie) kilku niezależnych układów dozujących i aplikujących zaprawę w postaci płynnej lub proszkowej.

W niniejszej pracy szczególnie nacisk położono na system odpylania w nowej generacji zaprawiarki porcjowej przeznaczonej do ziaren zbóż. Zakłada się, że do odpylania zaprawiarki nowej generacji zastosowane będą dwa niezależne systemy. Pierwszy system odpylania zasadniczego dotyczy odpylania komory wagi i pracuje w układzie otwartym. Drugi, autonomiczny system dotyczy odpylania komory zaprawiania i pracuje w układzie zamkniętym. W pracy zamieszczono schematy, podstawy teoretyczne oraz obliczenia. Ze względu na dużą wydajność zaprawiarki 3-8 [ $t \cdot h^{-1}$ ] jest ona przeznaczona dla średnich i dużych gospodarstw rolnych oraz zakładów nasiennych (przedsiębiorstw przygotowujących materiał siewny).

### **Słowa kluczowe:**

ekoprojektowanie, system odpylania, zaprawiarka do ziaren zbóż

### **Keywords:**

ecodesigning, dust collecting system, seed pickling machine